

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 31 730.5

Anmeldetag: 13. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Mikrostrukturbauelement und Verfahren zu dessen Herstellung

IPC: B 81 C, B 81 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. März 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. M.' or similar, written over the word 'Im Auftrag'.

1000f

5 **Mikrostrukturbauelement und Verfahren zu dessen Herstellung**

Stand der Technik

10

Die Erfindung betrifft ein Mikrostrukturbauelement mit einem Schichtaufbau, der einen Träger mit mindestens einer Glasschicht, insbesondere einer Pyrex-Schicht, umfasst und eine in einer Siliziumschicht ausgebildete Bauelementstruktur, die mit der Glasschicht verbunden ist. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Mikrostrukturbauelements.

15

Aus der Praxis sind bereits verschiedenste Mikrostrukturbauelemente mit einem Silizium-auf-Pyrex-Schichtaufbau bekannt, bei denen die Bauelementstruktur in der Siliziumschicht ausgebildet wird. Die Siliziumschicht wird üblicherweise aus einem Siliziumwafer gebildet, der gegen die Pyrex-Schicht gebondet wird. Dazu wird die Siliziumschicht bzw. deren Schichtdicke zunächst definiert, indem eine hohe Bordotierung in die Oberfläche des Siliziumwafers eingebracht wird. Danach wird die Sensorstruktur von der mit der Pyrex-Schicht zu verbindenden Oberfläche ausgehend in den Siliziumwafer eingätzt. Nachdem der Siliziumwafer gegen die Pyrex-Schicht gebondet worden ist, wird der gesamte Siliziumwafer bis zum p⁺-Ätzstopp auf der hochbordotierten Schicht aufgelöst. Auf diese Weise lassen sich Bauelementstrukturen mit einer maximalen Schichthöhe von ca. 20 µm herstellen.

20

25

Mit der voranstehend beschriebenen Technik werden insbesondere mikromechanische Bauelemente mit auslenkbaren Strukturelementen gefertigt, wie z.B. Sensorelemente für Beschleunigungs- und Drehratensensoren. Entscheidend für die Performance solcher mikromechanischen Bauelemente sind neben den schädlichen parasitären Kapazitäten der Sensorkontaktierung die Sensorgrundkapazität und der Modenabstand von in-plane und out-of-plane-Moden, die beide wesentlich von der Höhe der Bauelementstruktur abhängen. Des Weiteren wird die Perfor-

30

35

mance durch die Schwingungsgüte beeinflusst, die implizit von der Qualität des Vakuumeinschlusses der Bauelementstruktur abhängt.

5 Vorteile der Erfindung

10 Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Konzept für ein Mikrostrukturbauelement mit einem Schichtaufbau vorgeschlagen, das die Realisierung von Bauelementstrukturen mit einer Schichtdicke von mehr als 50 μm und sogar mehr als 100 μm ermöglicht. Damit lassen sich mikromechanische Bauelemente herstellen, die sowohl eine hohe Grundkapazität als auch einen großen Modenabstand in-plane zu out-of-plane aufweisen. Das erfindungsgemäße Konzept sieht außerdem eine Verkappung der Bauelementstruktur vor, die einen Vakuumeinschluss der Bauelementstruktur bei hermetisch dichter elektrischer Anbindung ermöglicht.

15 Dies wird durch den speziellen Schichtaufbau des erfindungsgemäßen Mikrostrukturbauelements erreicht. Dieser umfasst neben dem Träger mit der Glasschicht und der in einer Siliziumschicht ausgebildeten Bauelementstruktur, die mit der Glasschicht verbunden ist, eine Kappe, die über der Bauelementstruktur angeordnet ist und ebenfalls mit der Glasschicht verbunden ist. Erfindungsgemäß wird die Bauelementstruktur in einem ersten Siliziumwafer erzeugt, nachdem dieser mit der Glasschicht verbunden worden ist. Außerdem dient die Glasschicht des Trägers sowohl zur Fixierung der Bauelementstruktur als auch zur Anbindung der Kappe.

25 Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten für die Realisierung des erfindungsgemäßen Mikrostrukturbauelements.

30 Als besonders vorteilhaft erweist es sich, einen (111)-Siliziumwafer als ersten Siliziumwafer vorzusehen, da in diesem Fall homogene isotrope mechanische Eigenschaften innerhalb der Bauelementstrukturebene garantiert sind, insbesondere ein homogenes isotropes E-Modul, so dass in der Bauelementstruktur beispielsweise auch ein Ringgyro ausgebildet werden kann.

Der erste Siliziumwafer wird vorzugsweise durch anodisches Bonden mit der Glasschicht verbunden, da beim Bondprozess eine innige Verbindung zwischen dem Silizium und der Glasschicht entsteht und ggf. auch zwischen dem Silizium und einer Metallisierung, die in den Schichtaufbau integriert ist. Die Metallisierung ist in der Regel auf der Glasschicht ausgebildet. Durch den hohen Anpressdruck und die hohen Temperaturen von ca. 400°C beim Bondprozess bildet sich bei den meisten denkbaren Silizium-Metall-Kombinationen ein Eutektikum. Dabei entsteht ein ohmscher Kontakt zwischen dem Silizium und dem Metall, der die elektrische Leitfähigkeit und Zuverlässigkeit eines reinen Presskontakts weit übertrifft.

Der erste Siliziumwafer wird vor dem Bonden auf seiner Bondseite derart vorstrukturiert, dass die Bondflächen, d.h. die Anbindungsstellen an die Glasschicht, hervorstehen, während die Teile der bondseitigen Oberfläche, die nicht mit der Glasschicht in Kontakt kommen sollen, demgegenüber zurückversetzt sind. Alternativ oder auch zusätzlich zur Vorstrukturierung des ersten Siliziumwafers kann auch die Glasschicht in geeigneter Weise strukturiert werden. Nach dem Bonden wird der erste Siliziumwafer dann von der gegenüberliegenden Oberfläche ausgehend strukturiert, beispielsweise durch Einsatz der Siliziumtrenchtechnik, wobei die gesamte Bauelementstruktur mit einer relativ großen Strukturhöhe erzeugt werden kann. Aufgrund der Vorstrukturierung des Siliziumwafers und/oder der Glasschicht können dabei auch direkt freibewegliche Strukturen realisiert werden.

In einer vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Mikrostrukturbauelements wird auch die Kappe in einem Siliziumwafer ausgebildet und durch anodisches Bonden mit der Glasschicht verbunden. Dazu wird ein zweiter Siliziumwafer, beispielsweise durch Trenchätzen, vorstrukturiert, so dass er Vertiefungen bzw. Kavernen entsprechend der Höhe der zu verkappenden Bauelementstruktur aufweist. Die Tiefe dieser Ausnehmungen muss größer sein als die Schichtdicke der Bauelementstruktur, und zwar so, dass eine Auslenkung der beweglichen Teile der Bauelementstruktur in einem vorgegebenen Umfang möglich ist. Bei einer besonders vorteilhaften Variante bildet die Kappe einen Überlastschutz für die auslenkbaren Elemente der Bauelementstruktur, also einen Anschlag.

In einer besonders vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Mikrostrukturbauelements sind in den Schichtaufbau Leiterbahnen zum Kontaktieren der Bauelementstruktur integriert und/oder mindestens ein elektrisch leitendes Shield, an das zumindest ein Teil der Bauelementstruktur elektrisch angebunden ist und das
5 ein elektrostatisches Verkleben der Bauelementstruktur beim anodischen Bonden verhindert. Sowohl die Leiterbahnen als auch die Shields sind zwischen der Glasschicht und der Bauelementstruktur angeordnet und werden in vorteilhafter Weise in Form einer strukturierten Metallisierung der Glasschicht und/oder der bondseitigen Oberfläche des ersten Siliziumwafers realisiert.

10 Sowohl der erste Siliziumwafer, in dem die Bauelementstruktur ausgebildet wird, als auch der vorstrukturierte zweite Siliziumwafer, der die Kappe bildet, werden so auf der Glasschicht angeordnet, dass die Leiterbahnen und Shields an den dafür vorgesehenen Stellen durch Silizium kontaktiert werden. Dabei kommen die vor-
15 anstehend in Verbindung mit der Bauelementstruktur erläuterten Vorteile des anodischen Bondens auch in Bezug auf die Kappe zum Tragen. Wesentlich ist immer, dass ein großer Teil der Kontaktfläche anodisch an die Glasschicht gebunden wird, während ein entsprechend kleinerer Teil der Kontaktfläche die Metallschicht überragt und gegen diese gepresst wird.

20 Wie bereits erwähnt, kann die Bauelementstruktur des erfindungsgemäßen Mikrostrukturbauelements mit Hilfe des erfindungsgemäßen Konzepts in ein besonders gutes Vakuum zwischen der Glasschicht und der Kappe eingeschlossen werden. Dazu wird in der Kappe mindestens eine Öffnung erzeugt, die erst nach dem Ver-
25 binden der Kappe mit der Glasschicht unter definierten Druckbedingungen wieder versiegelt wird. Diese Öffnung kann bereits im Rahmen der Vorstrukturierung des zweiten Siliziumwafers generiert werden oder auch erst nach dem Verbinden mit der Glasschicht. In der Regel wird diese Öffnung in Form eines Isolationstrenchgrabens ausgeführt, über den Sensorstrukturen von oben durch die
30 Kappe hindurch kontaktiert werden können.

In einer besonders vorteilhaften Variante wird die elektrische Verbindung der Bauelementstruktur zur Außenwelt über die Kappe hergestellt. Dazu wird die Kappe so mit der Glasschicht verbunden, dass sie mindestens eine Leiterbahn kontak-

tiert. Außerdem werden in der Kappe sogenannte Kontaktpads ausgebildet, die durch Isolationsgräben vom Rest-Silizium der Kappe isoliert werden. Diese Isolationsgräben können nachfolgend unter Vakuumabscheidung wieder verschlossen werden, wobei auf einfache Weise ein gutes Vakuum unter der Kappe erzeugt werden kann. Die Strukturierung der Kontaktpads in der Kappe erfolgt vorzugsweise durch Trenchätzen ausgehend von der Oberseite der gegen die Glasschicht gebondeten Kappe, um eine Silizium-Insel, den Pad, allseitig rundherum vom Kappensilizium abzutrennen und zu isolieren. Durch die Trenchgräben zur Isolation der Kontaktpads wird das Innere des Mikrostrukturbauelements geöffnet, so dass ein Druckausgleich mit der Umgebung stattfindet. Der hermetische Abschluss der Bauelementstruktur erfolgt erst anschließend durch einen Refill-Prozess, bei dem die Trenchgräben mit einem elektrisch isolierenden Material, wie z.B. Siliziumoxid oder -nitrid, geschlossen werden. Diese Materialien werden üblicherweise in einem CVD-Depositionsprozess bei einem Druck von 100 μ bar bis 1 mbar abgeschieden. Dabei wird die Bauelementstruktur in ein bis zu einer Größenordnung besseres Vakuum eingeschlossen als beispielsweise während des anodischen Bondprozesses. Die Bauelementstruktur kann also durch einen geeigneten Refill-Prozess zum Verschließen von Öffnungen in der Kappe in ein besonders gutes Vakuum eingeschlossen werden.

20

Zeichnungen

Wie bereits voranstehend erörtert, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu wird einerseits auf die den unabhängigen Patentansprüchen nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Beschreibung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Zeichnungen verwiesen.

30

In den Figuren 1 bis 8 sind die wesentlichen Verfahrensschritte bei der Herstellung eines erfindungsgemäßen Mikrostrukturbauelements – hier eines Sensorelements zum Erfassen von Drehraten – dargestellt. Bei allen Figuren 1 bis 8 handelt es sich um Querschnittdarstellungen des Schichtaufbaus. An dieser Stelle sei ange-

merkt, dass die Figuren 1 bis 8 lediglich eine mögliche Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens veranschaulichen sollen.

5 Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Der Schichtaufbau eines erfindungsgemäßen Mikrostrukturbauelements umfasst einen Träger mit mindestens einer Glasschicht. Bei dem hier beschriebenen Sensorelement dient ein Pyrexwafer 1 als Träger 1. Als Träger könnte aber beispielsweise auch ein Compositwafer mit einer bondfähigen Glasschicht verwendet werden.

Fig. 1 zeigt den Träger 1, nachdem er mit einer Metallisierung versehen worden ist. Hierfür können Materialien, wie Aluminium, AlSi, AlSiCu, CrAu, WTi/Au oder PtAu, gewählt werden. Die Metallisierung wurde strukturiert, wobei zum einen Leiterbahnen 2 zum Kontaktieren der Sensorstruktur erzeugt wurden und zum anderen sogenannte Shields 3, mit deren Hilfe ein elektrostatisch bedingtes Verkleben der Sensorstruktur mit dem Träger vermieden werden kann. Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wurde die Metallisierung im wesentlichen nur in den Bondbereichen 4 entfernt, also in den Bereichen, in denen später eine anodische Bondung erfolgen soll. Die Metallisierung sollte so dick wie möglich ausgebildet werden. Allerdings sollte sie die anodische Bondung in ihrer Umgebung nicht wesentlich beeinträchtigen. In den Randbereichen der Metallisierung bildet sich nämlich in der Regel ein Fehlbereich der anodischen Bondung aus, dessen laterale Ausdehnung von der Dicke der Metallisierung bzw. der Topographieerhebung auf der Bondfläche abhängt. Geeignete Werte für die Dicke der Metallisierung liegen zwischen 50 und 200 nm, vorzugsweise bei 100 nm. Die laterale Störzone beträgt typischerweise das zehnfache dieses Werts, also z.B. 1 μm .

30 Dem Träger 1 gegenübergestellt ist ein Siliziumwafer 5, in dem die eigentliche Bauelementstruktur bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel ausgebildet werden soll. Der in Fig. 1 dargestellte Siliziumwafer 5 kann seine ursprüngliche Dicke aufweisen oder auch bereits auf eine geringere Dicke von beispielsweise 200 bis 400 μm abgedünnt sein. In jedem Fall sollte er so dick sein, dass er sich

noch ohne übermäßiges Bruchrisiko handhaben lässt. Der Siliziumwafer 5 weist vorzugsweise eine (111)-Orientierung auf, da (111)-Silizium in der Waferebene isotrop ist. Dies erweist sich insbesondere für den Modenabgleich von Drehratensensoren als vorteilhaft.

5

Die Bondseite des in Fig. 1 dargestellten Siliziumwafers 5, d.h. die dem Träger 1 zugewandte Oberfläche 6 des Siliziumwafers 5 wurde durch Einsatz der Trench-technik strukturiert. Dabei wurde die gesamte Oberfläche 6 zurückversetzt, mit Ausnahme der Bereiche, in denen ein Bondkontakt zum Träger 1 erzeugt werden soll, die also die Bondflächen 7 der Bauelementstruktur bilden sollen. Dementsprechend überragen die Bondflächen 7 die ansonsten zurückversetzte Oberfläche 6 des Siliziumwafers 5. Das Ausmaß der Zurückversetzung kann bis zu 50 μm betragen und liegt vorzugsweise im Bereich von 5 bis 20 μm . Auf diese Weise wird zum einen eine elektrische Isolation zur Metallisierung des Trägers 1 sichergestellt. Zum anderen können in den Bereichen der Zurückversetzung einfach freitragende Strukturen im Siliziumwafer 5 erzeugt werden.

Der so vorstrukturierte Siliziumwafer 5 wird gegen den Träger 1 bzw. gegen dessen mit der strukturierten Metallisierung versehene Oberfläche justiert und so gebondet, dass die Bondflächen 7 des Siliziumwafers 5 zumindest teilweise mit den anodischen Bondbereichen 4 des Trägers 1 in Kontakt kommen. In den Bereichen, in denen ein ohmscher Kontakt des Siliziumwafers 5 zur Metallisierung des Trägers 1 vorgesehen ist, überlappen die Bondflächen 7 die Metallisierung zumindest teilweise. Die Justierung des Siliziumwafers 5 kann beispielsweise optisch erfolgen, da der Träger 1 im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel durchsichtig ist. Eine weitere Möglichkeit besteht im Einsatz von Infrarotjustagetechniken. Außerdem können sowohl der Träger 1 als auch der Siliziumwafer 5 mit Justagestrukturen versehen werden. Die anodische Verbindung zwischen dem Träger 1 und dem Siliziumwafer 5 wird durch Aufheizen der Waferanordnung und Anlegen einer elektrischen Spannung, der Bondspannung, hergestellt. Dabei wird außerdem in den Überlappbereichen zwischen Silizium und Metallisierung ein ohmscher Kontakt hergestellt, da sich in diesen Bereichen, unterstützt durch den mechanischen Anpressdruck der benachbarten anodischen Bondung, ein Eutektikum ausbildet. Dadurch liegen die Shields 3 auf demselben elektrischen Potential wie der

Siliziumwafer 5, so dass ein unerwünschtes elektrostatisches Durchbiegen und Anbenden des Siliziumwafers 5 gegen den Träger 1 selbst in ausgedehnten freitragenden Bereichen praktisch ausgeschlossen ist. Fig. 2 zeigt die Waferanordnung nach dem Bondvorgang, durch den eine innige Verbindung zwischen dem Träger 1 und dem Siliziumwafer 5 hergestellt worden ist, und nachdem der Siliziumwafer 5 auf die gewünschte Dicke abgedünnt worden ist. Hierzu kann beispielsweise eine chemisch-mechanische Poliertechnik (CMP) eingesetzt werden. Für sehr hohe Strukturen kann der Wafer auch in seiner Originaldicke belassen werden. Unabhängig davon ist es vorteilhaft, die Oberfläche des Siliziumwafers 5 nach dem Bondprozess zu polieren.

Anschließend wird die gesamte Sensorstruktur mit unbeweglichen und insbesondere auch mit beweglichen Strukturelementen im Siliziumwafer 5 erzeugt, wozu im hier dargestellten Ausführungsbeispiel eine Silizium-Tief-Trenchtechnik eingesetzt wird. Die Sensorstruktur muss an den Leiterbahnen 2, an den Bondbereichen 4 auf dem Träger 1 sowie an den Bondflächen 7 des Siliziumwafers 5 ausgerichtet werden. Die dazu erforderliche Justierung erfolgt bereits vor dem eigentlichen Trenchätzen bei der photolithographischen Strukturierung der Ätzmaske in einer auf den Siliziumwafer 5 aufgetragenen Maskierschicht. Wenn der Träger 1 durchsichtig ist, kann die Maskierschicht durch doppelseitige Fotolithographie strukturiert werden. Bei der photolithographischen Strukturierung der Maskierschicht kann aber auch eine Infrarotjustage zum Einsatz kommen. Der Ätzangriff beim Tief-Trenchen erfolgt in den Bereichen der Oberfläche des Siliziumwafers 5, in denen die Maskierschicht bei der photolithographischen Strukturierung entfernt worden ist. Um einen rückseitigen Ätzangriff durch die beim Plasmatarenchprozess eingesetzten Ätzgase auszuschließen, kann vor dem Bonden eine dünne Oxidschicht auf die zurückversetzte Oberfläche 6 des Siliziumwafers 5 aufgebracht werden, die dann auch als unterer Ätzstopp dient. Als Maskierschicht wird üblicherweise Photolack verwendet, der durch Belichten und Entwickeln strukturiert wird.

Im linken Teil der Fig. 3 ist die funktionelle Sensorstruktur 10 mit einer feststehenden Kammelektrode 11, mit einer beweglichen Kammelektrode 12 in Verbindung mit einer Schwingmasse 13, mit einer Coriolismasse 14 und mit zwei festen Auf-

hängungen 15 für Detektionselektroden dargestellt. Der rechte Teil der Fig. 3 zeigt eine Leiterbahnbrücke 16 aus Silizium, die zwei Metallleiterbahnen 2 miteinander verbindet und mehrere weitere funktionelle Metallstrukturen 2 und 3 kontaktfrei überspannt. Derartige Leiterbahnbrücken ermöglichen die Realisierung von Leiterbahnkreuzungen, wodurch sich die Strukturierungsfreiheit bei der Konzeption eines erfindungsgemäßen Mikrostrukturbauelements wesentlich steigern lässt.

In Fig. 4 ist über der voranstehend beschriebenen Waferanordnung ein vorstrukturierter Siliziumwafer 20 dargestellt, der im Folgenden als Kappenwafer oder Kappe 20 bezeichnet wird. Im Kappenwafer 20 ist eine Kaverne 21 für die Sensorstruktur 10, die Leiterbahnbrücke 16 und die feststehenden Kammelektroden 11 ausgebildet, so dass die einzelnen Strukturelemente der Sensorstruktur, insbesondere die beweglichen Strukturelemente der Sensorstruktur 10, ihre jeweilige Funktion ungehindert erfüllen können. Die Tiefe der Kaverne 21 wurde so gewählt, dass die Kappe 20 einen mechanischen Anschlag für die beweglichen Strukturelemente bildet und damit als Überlastschutz fungiert. Der vertikale Abstand zwischen Kappeninnenunterseite und Sensorstruktureoberseite liegt in der Regel zwischen 1 μm und der halben Sensorstrukturhöhe. Die Kaverne 21 kann beispielsweise durch einen zeitkontrollierten Ätzprozess in Trenchtechnik in den Kappenwafer 20 eingebracht werden, wobei die Prozessdauer die Tiefe der Kaverne 21 bestimmt. Der in Fig. 4 dargestellte Kappenwafer 20 weist ferner eine Vorstrukturierung in Form eines stempelartigen Gebildes 22 im Bereich eines zu erzeugenden Kontaktpads auf. Darüber soll nach dem Bonden des Kappenwafers 20 gegen den Träger 1 der elektrische Kontakt zu einer Leiterbahn 2 hergestellt werden und damit ein elektrischer Anschluss der Sensorstruktur 10 bzw. von Teilen der Sensorstruktur 10 bzw. von Teilen der Abschirmung in Form der Shields. Im rechten Teil der Fig. 4 ist zu erkennen, dass der rechte Rand der Kaverne 21 ein Shield 3 überlappt, also beim anodischen Bonden des Kappenwafers 20 gegen den Träger 1 an dieses Shield 3 angebunden wird. Auch bei diesem Bondvorgang ist es wesentlich, dass alle elektrisch anzuschließenden, metallisierten Bereiche der Trägeroberfläche in direktem Kontakt zum Silizium des Kappenwafers 20 stehen, damit eine Shield-Wirkung beim anodischen Bonden erzielt wird, der anodische Bondprozess also ohne Ausfälle durch Verkleben bzw. elektrostatische Anziehung funktionieren kann.

Fig. 5 zeigt den Schichtaufbau des hier beschriebenen Sensorelements nach dem Bonden des Kappenwafers 20 gegen den Träger 1. Da alle metallisierten Bereiche der Trägeroberfläche, d.h. alle Leiterbahnen 2 und Shields 3, sowohl an die Sensorstruktur 10 als auch an das Silizium des Kappenwafers 20 angebunden sind, so dass alle Teile der Sensorstruktur 10 und alle Teile unter der Sensorstruktur 10 auf dem elektrischen Potential des Kappenwafers 20 liegen, kann auch bei dem zweiten anodischen Bondprozess kein elektrostatischer Kollaps der Sensorstruktur 10 nach unten oder gegen die Kappe 20 eintreten.

10 Auch im Fall des Kappenwafers 20 kann ein Abdünnen erforderlich sein, das entweder vor oder nach der Vorstrukturierung oder auch nach dem zweiten Bondprozess erfolgen kann. Die Kappe 20 sollte eine Dicke von 50 bis 300 μm aufweisen, wenn die Kontaktpads 23 durch Isolationstrenchs 24 in der Kappe 20 freigelegt und elektrisch isoliert werden. Über die Isolationstrenchs 24 wird der Gasraum
15 unter der Kappe 20 wieder geöffnet, so dass ein Druckausgleich mit der Umgebung stattfindet. Dementsprechend sind die Druckverhältnisse beim Bonden des Kappenwafers 20 gegen den Träger 1 unerheblich für den Druck, der nach der Fertigstellung des Sensorelements im Sensorinneren herrscht.

20 Um die Kaverne 21 des Kappenwafers 20 vor einem Ätzangriff beim Erzeugen der Isolationstrenchs 24 zu schützen, kann diese vor dem Bonden mit einer dünnen Passivierschicht versehen werden. Durch geeignete Abstände der Isolationstrenchs 24 von aktiven Strukturelementen der Sensorstruktur 10 oder Platzieren von Siliziumisolationsstrukturen zwischen aktiven Strukturelementen und Isolationstrenchs, wie im linken Teil der Fig. 5 dargestellt, kann ebenfalls ausgeschlossen werden, dass ein unerwünschter Ätzangriff auf die aktiven Strukturelemente erfolgt.

30 Die Isolationstrenchs 24 werden mit einem elektrisch isolierenden Material versiegelt. Erst durch diesen Refill-Prozess wird das Sensorinnere endgültig abgeschlossen. Vorteilhafterweise werden zum Versiegeln der Isolationstrenchs 24 Materialien verwendet, die sich in einem CVD (chemical vapor deposition)-Prozess abscheiden lassen, wie beispielsweise Siliziumoxid oder -nitrid. Da solche CVD-Prozesse insbesondere in der Anfangsphase bei sehr niedrigen Drücken

durchgeführt werden können, kann auf diese Weise einfach ein extrem niedriges Vakuum unter der Kappe 20 eingeschlossen werden, was sich vorteilhaft auf den späteren Sensorbetrieb auswirkt. Fig. 6 zeigt den Schichtaufbau nach dem Refill-Prozess, bei dem auch eine Schicht 25 aus Refill-Material auf der Oberfläche des Kappenwafers 20 erzeugt worden ist.

Fig. 7 zeigt den Schichtaufbau, nachdem über den Kontaktpads 23 Kontaktlöcher 26 in der Schicht 25 geöffnet worden sind und eine ganzflächige Metallisierungsschicht 27 erzeugt worden ist. Dazu kann beispielsweise Al, AlSi oder AlSiCu aufgebracht werden. Diese Metallisierungsschicht 27 kann dann beliebig strukturiert werden, entweder unmittelbar zu Kontaktpads oder zu Leiterbahnen, die zu entfernteren Kontaktpads oder Kontaktflächen führen.

Im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wurde die Metallisierungsschicht 27 zu metallischen Kontaktflächen 28 oberhalb der Kontaktpads 24 strukturiert, was in Fig. 8 dargestellt ist. Nach dem Vereinzeln und einem geeigneten Aufbau der so gewonnenen Sensorelemente auf Lead-Frames dienen diese Kontaktpads 24 zum Bonden der Verbindungsdrähte beim Drahtbonden oder für eine Flip-Chip-Montage direkt auf ein Keramikhybrid.

Fig. 8 zeigt somit den Querschnitt durch die Gesamtstruktur eines erfindungsgemäß konzipierten Sensorelements. Der Schichtaufbau dieses Sensorelements umfasst einen Pyrexwafer als Träger 1, auf den eine Sensor-Metallisierungsebene aufgebracht ist. Der Schichtaufbau umfasst ferner eine Sensorstruktur 10 aus einer dicken einkristallinen Siliziumschicht mit den eingangs beschriebenen Vorzügen hinsichtlich einer verbesserten Sensorperformance. Schließlich umfasst der Schichtaufbau noch eine Silizium-Kappenstruktur 20 mit Kontaktpads 23, eventuell Leiterbahnen und metallischen Kontaktflächen, die durch versiegelte Isolationstrenchs 24 von der übrigen Kappenstruktur 20 isoliert sind. Die Kappe 20 wurde durch erneutes anodisches Bonden, ohne zusätzliche Klebeschichten ebenfalls mit dem Träger 1 verbunden. Der Träger 1 dient also sowohl zur Fixierung der Sensorstruktur 10 als auch zur hermetischen Anbindung der Kappe 20. Durch einen geeigneten Refill-Prozess zum Versiegeln der Isolationstrenchs 24 kann im Sensorinneren ein besonders gutes Vakuum eingeschlossen werden. Zu

erkennen sind ferner sowohl die Leiterbahnen 2 zum Kontaktieren der Sensorstruktur 10 als auch die Shields 3 an all denjenigen Stellen, an denen keine Metallleiterbahnen 2 unter der Sensorstruktur 10 verlaufen. Des Weiteren sind die Anschlüsse der Metallleiterbahnen 2 und der Shields 3 an das Kappensilizium zu erkennen. An diesen Stellen steht das Silizium teilweise mit Pyrex und teilweise mit Metall in Kontakt, so dass sowohl eine anodische Bondung zum Pyrex als auch eine eutektische Bondung zum Metall stattfindet.

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, dass auch Modifikationen des voranstehend beschriebenen Prozessablaufs im Rahmen der Erfindung liegen. So kann beispielsweise alternativ oder auch ergänzend zum Siliziumwafer 5, in dem die Sensorstruktur 10 ausgebildet wird, der Träger 1 vorstrukturiert werden, bevor der Siliziumwafer 5 gegen den Träger 1 gebondet wird. Die Leiterbahnen 2 können dann auch in Vertiefungen der Trägeroberfläche geführt werden. Die entsprechenden Anschlussbereiche in der Siliziumoberfläche müssen dann hervorgehoben werden, indem die übrige Siliziumoberfläche beispielsweise durch Ätzen zurückversetzt wird. Auch die voranstehende Beschreibung der Durchkontaktierungen im Kappenwafer 20 ist lediglich beispielhaft zu verstehen. So können die Isolationstrenchs 24 auch bereits vor dem Bonden von der Bondseite her angelegt werden, beispielsweise durch einen zeitkontrollierten Ätzschritt auf eine gewisse Zieltiefe. Die eigentliche Trennung der Anschluss pads 23 vom umgebenden Kappensilizium erfolgt dann durch ein ganzflächiges Rückätzen des Kappenwafers 20 nach dem Bondprozess, also von der gegenüberliegenden Oberfläche ausgehend.

Nachfolgend werden die wesentlichen Vorteile des erfindungsgemäßen Konzepts nochmals für das in Verbindung mit den Figuren beschriebene Ausführungsbeispiel aufgelistet:

- Einfaches, zuverlässiges und kostengünstiges Herstellungsverfahren
- Ein einziger Träger bzw. eine einzige Trägerschicht genügt sowohl für die Fixierung und elektrische Kontaktierung der Sensorstruktur als auch für die hermetische Anbindung der Kappe
- Die Sensorstruktur kann in ein sehr gutes Vakuum eingeschlossen werden

- Realisierung von hohen Sensorstrukturen, dadurch gute Modentrennung zwischen in-plane- und out-of-plane-Freiheitsgraden, in Folge dessen verringerte Quadratur
- 5 - Hohe Grundkapazität C , dadurch große Kapazitätsvariationen ΔC und in Folge dessen verringertes elektrisches Rauschen
- Vergrößerte Sensormasse, dadurch verringertes mechanisches Rauschen
- Niederohmiger Kontakt und Anschluss der Sensorsubstrukturen an die Außenwelt durch Metallische Leiterbahnen
- 10 - Kleinere parasitäre Kapazitäten durch Leiterbahnführung auf Pyrexwafer bzw. Pyrexschicht
- Integriertes ESD-shield, dadurch störsicherer Sensorbetrieb
- Robuster, überlastfester Sensoraufbau mit integrierten z-Anschlägen in beiden Richtungen
- 15 - Einkristallines Silizium mit besonders hohen mechanischen Qualitäten, insbesondere hoher Güte, dauerlastfest, stressarm, hochleitfähig und frei von Stressgradienten.

5

Bezugszeichen

10

- 1 Träger
- 2 Leiterbahn
- 3 Shield
- 4 Bondbereich (auf Träger)
- 5 erster Siliziumwafer
- 6 Bondseite / Oberfläche (erster Siliziumwafer)
- 7 Bondfläche (erster Siliziumwafer)

15

- 10 Bauelementstruktur / Sensorstruktur
- 11 Feststehende Kammelektrode
- 12 Bewegliche Kammelektrode
- 13 Schwingmasse
- 14 Coriolismasse
- 15 Aufhängung für Detektionselektrode
- 16 Leiterbahnbrücke

20

25

- 20 zweiter Siliziumwafer / Kappenwafer / Kappe
- 21 Kaverne
- 22 Stempelartiges Gebilde
- 23 Kontaktpad
- 24 Isolationstrench
- 25 Schicht (Refill-Material)
- 26 Kontaktloch
- 27 Metallisierungsschicht
- 28 Kontaktfläche

30

35

R. 42292

5

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Mikrostrukturbauelement mit einem Schichtaufbau, umfassend
- einen Träger (1) mit mindestens einer Glasschicht, insbesondere einer Pyrex-Schicht, und
 - eine in einer ersten Siliziumschicht ausgebildete Bauelementstruktur (10), die mit der Glasschicht verbunden ist,
- dadurch gekennzeichnet, dass über der Bauelementstruktur (10) eine Kappe (20) angeordnet ist und dass die Kappe (20) ebenfalls mit der Glasschicht verbunden ist.
2. Mikrostrukturbauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bauelementstruktur (10) in einem ersten Siliziumwafer (5), vorzugsweise in einem (111)-Siliziumwafer, ausgebildet ist und durch anodisches Bonden mit der Glasschicht verbunden ist.
3. Mikrostrukturbauelement nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kappe (20) in einem zweiten Siliziumwafer ausgebildet ist und durch anodisches Bonden mit der Glasschicht verbunden ist.
4. Mikrostrukturbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Glasschicht und der Bauelementstruktur (10) Leiterbahnen (2) zum Kontaktieren der Bauelementstruktur (10) angeordnet sind.
5. Mikrostrukturbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Glasschicht mindestens ein elektrisch leitendes Shield (3) ausgebildet ist, an das zumindest ein Teil der Bauelementstruktur (10) elektrisch angebunden ist.

6. Mikrostrukturbauelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Glasschicht eine strukturierte Metallisierung aufweist, in der die Leiterbahnen (2) und Shields (3) ausgebildet sind.

5 7. Mikrostrukturbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Bauelementstruktur (10) zwischen der Glasschicht und der Kappe (20) in einem Vakuum eingeschlossen ist.

10 8. Mikromechanisches Sensorelement, insbesondere zum Erfassen von Beschleunigungen und Drehraten, nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Bauelementstruktur (10) mindestens ein auslenkbares Element umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass die Kappe (20) einen Überlastschutz für das auslenkbare Element bildet.

15 9. Verfahren zum Herstellen eines Mikrostrukturbauelements mit einem Schichtaufbau, umfassend einen Träger (1) mit mindestens einer Glasschicht, insbesondere einer Pyrex-Schicht, und eine in einer Siliziumschicht ausgebildete Bauelementstruktur (10), d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

- 20
- ein erster Siliziumwafer (5) mit der Glasschicht verbunden wird,
 - die Bauelementstruktur (10) in dem ersten Siliziumwafer (5) erzeugt wird und
 - über der Bauelementstruktur (10) eine Kappe (20) angeordnet und ebenfalls mit der Glasschicht verbunden wird.

25 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein (111)-Siliziumwafer als erster Siliziumwafer (5) verwendet wird und dass der erste Siliziumwafer (5) durch anodisches Bonden mit der Glasschicht verbunden wird.

30 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Kappe (20) in einem zweiten Siliziumwafer ausgebildet wird und durch anodisches Bonden mit der Glasschicht verbunden wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die mit der Glasschicht zu verbindende Oberfläche (6) des ersten Siliziumwafers (5) und/oder die Glasschicht vorstrukturiert werden, wobei mindestens eine Bondfläche (7) ausgebildet wird, die aus der Oberfläche der strukturierten Schicht hervortritt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Glasschicht mit einer Metallisierung versehen wird und dass die Metallisierung strukturiert wird, wobei Leiterbahnen (2) zum Kontaktieren der Bauelementstruktur (10) erzeugt werden und Shields (3), die ein elektrostatisches Verkleben der Bauelementstruktur (10) beim anodischen Bonden verhindern.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Siliziumwafer (5) auf eine vorgegebene Dicke abgedünnt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kappe (20) mindestens eine Öffnung erzeugt wird und dass diese Öffnung erst nach dem Verbinden der Kappe (20) mit der Glasschicht unter definierten Druckbedingungen versiegelt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Kappe (20) so mit der Glasschicht verbunden wird, dass sie sowohl die Leiterbahnen (2) als auch die Shields (3) kontaktiert, und dass in der Kappe (20) Kontaktpads (23) ausgebildet werden, indem die entsprechenden Bereiche der Kappe (20) durch umlaufende Trenchgräben elektrisch isoliert werden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ausbildung der Kontaktpads (23) in der Kappe (20) Isolationstrenchs (24) erzeugt werden und dass die Isolationstrenchs (24) in einem CVD (chemical vapor deposition)-Verfahren mit einem elektrisch isolierenden Material versiegelt werden, wobei ein Vakuumeinschluss unter der Kappe (20) erzielt wird.

R. 42292

5

Zusammenfassung

Es wird ein Konzept für ein Mikrostrukturbauelement mit einem Schichtaufbau vorgeschlagen, das die Realisierung von Bauelementstrukturen mit einer Schichtdicke von mehr als 50 μm und sogar mehr als 100 μm ermöglicht. Dieses Konzept sieht außerdem eine Verkappung der Bauelementstruktur vor, die einen Vakuumschluss der Bauelementstruktur bei hermetisch dichter elektrischer Anbindung ermöglicht.

Dazu umfasst der Schichtaufbau des Mikrostrukturbauelements einen Träger (1) mit mindestens einer Glasschicht, insbesondere einer Pyrex-Schicht, eine in einer Siliziumschicht ausgebildete Bauelementstruktur (10), die mit der Glasschicht verbunden ist, und eine Kappe (20), die über der Bauelementstruktur (10) angeordnet ist und ebenfalls mit der Glasschicht verbunden ist.

20 (Fig. 8)

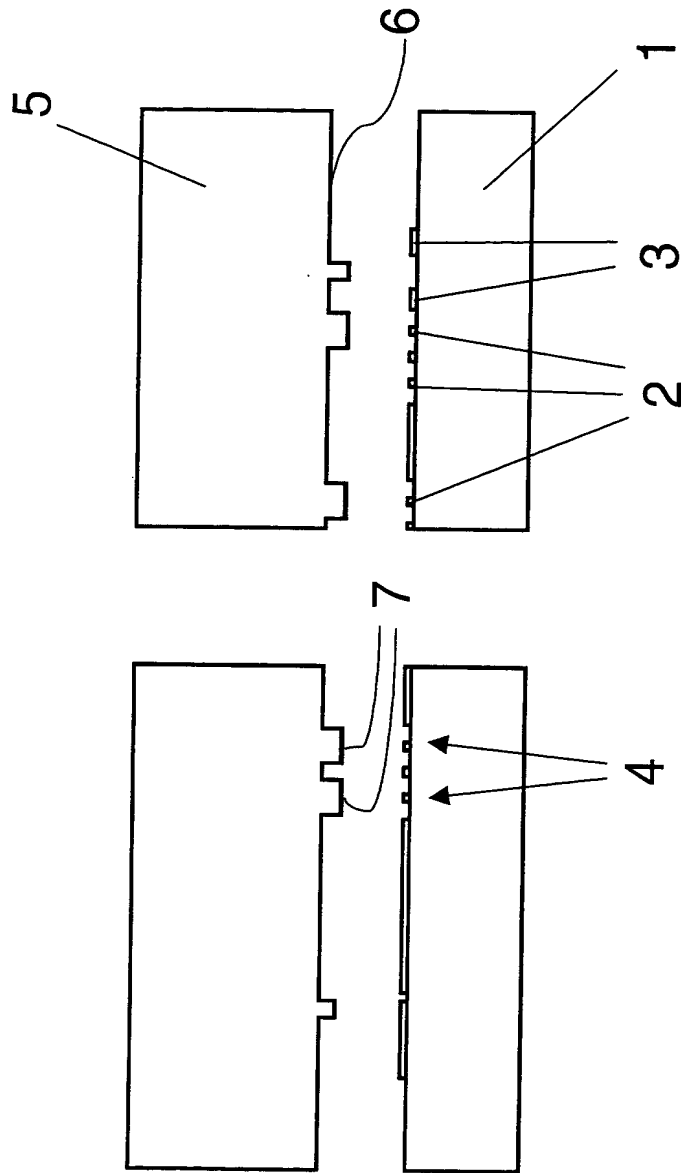


Fig. 1

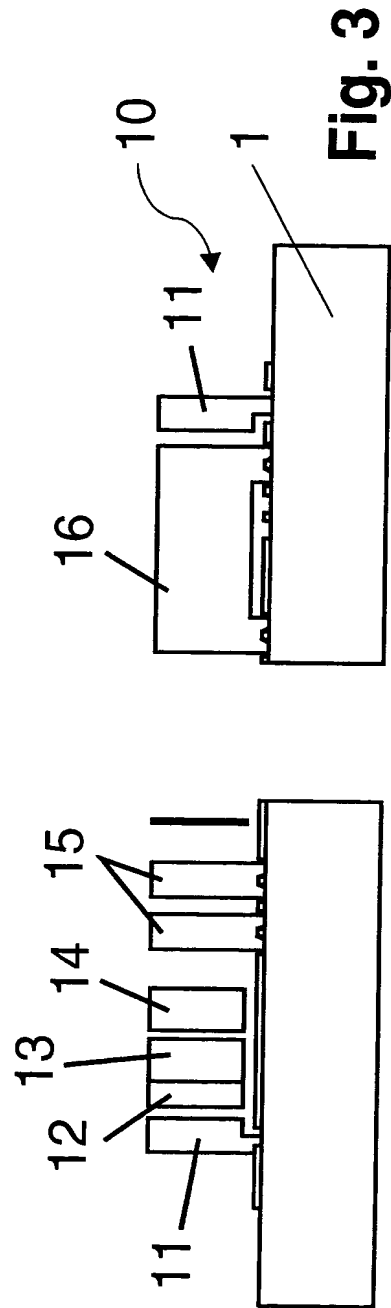
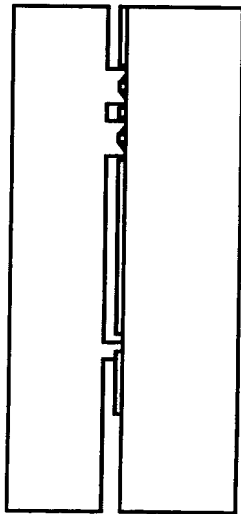
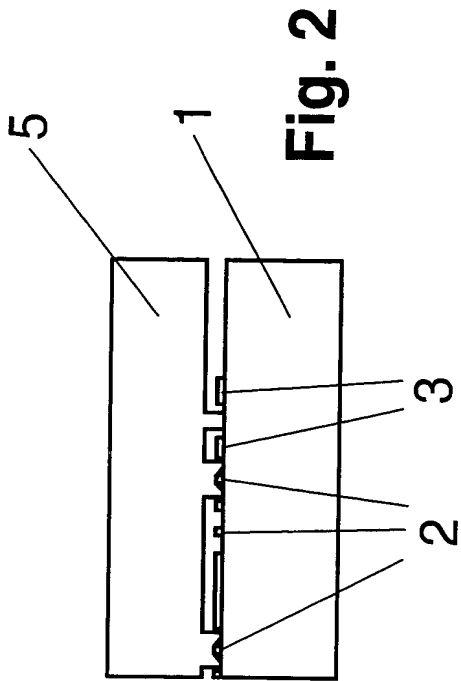
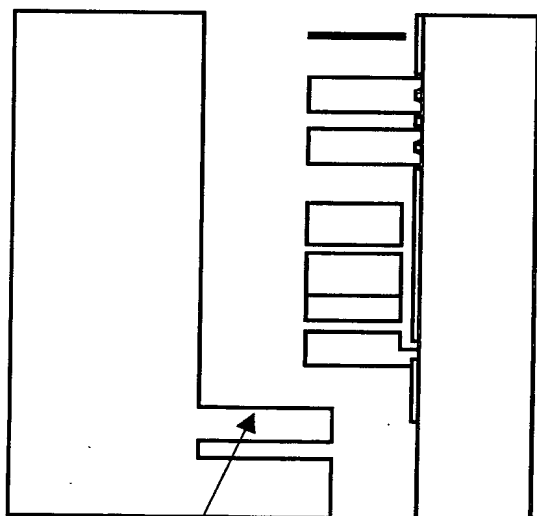
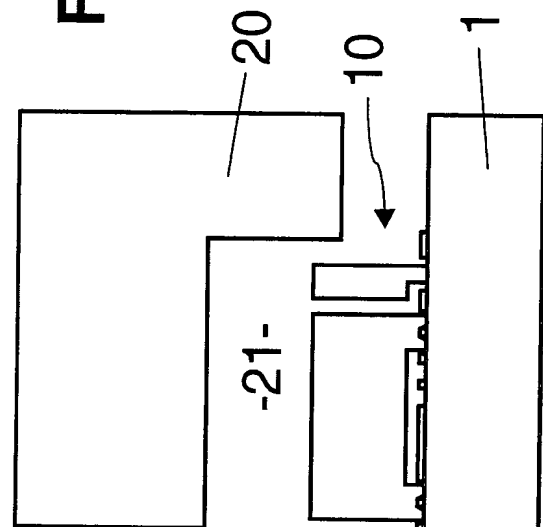
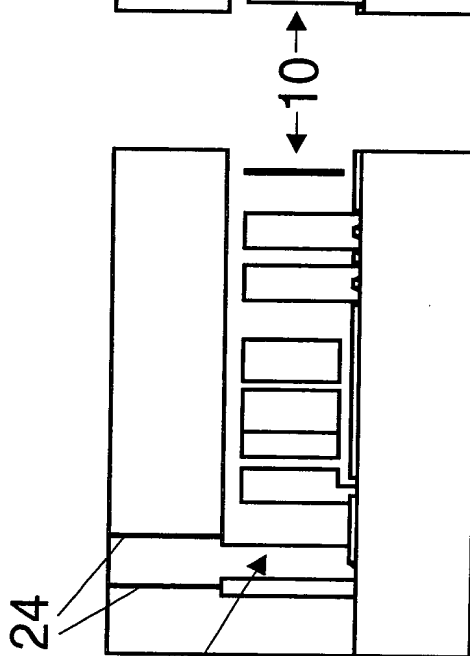
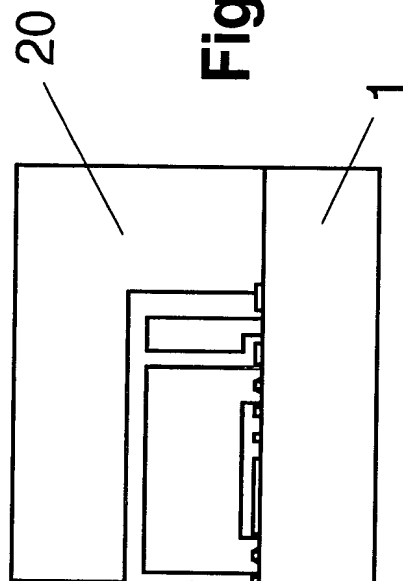


Fig. 4



22

Fig. 5



22

24

Fig. 6

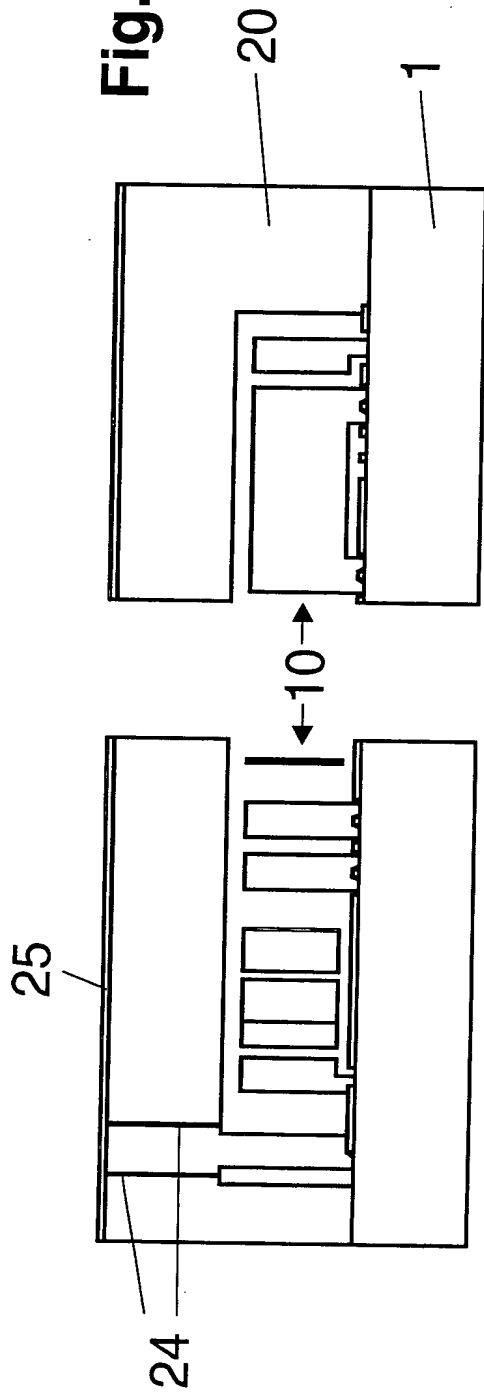


Fig. 7

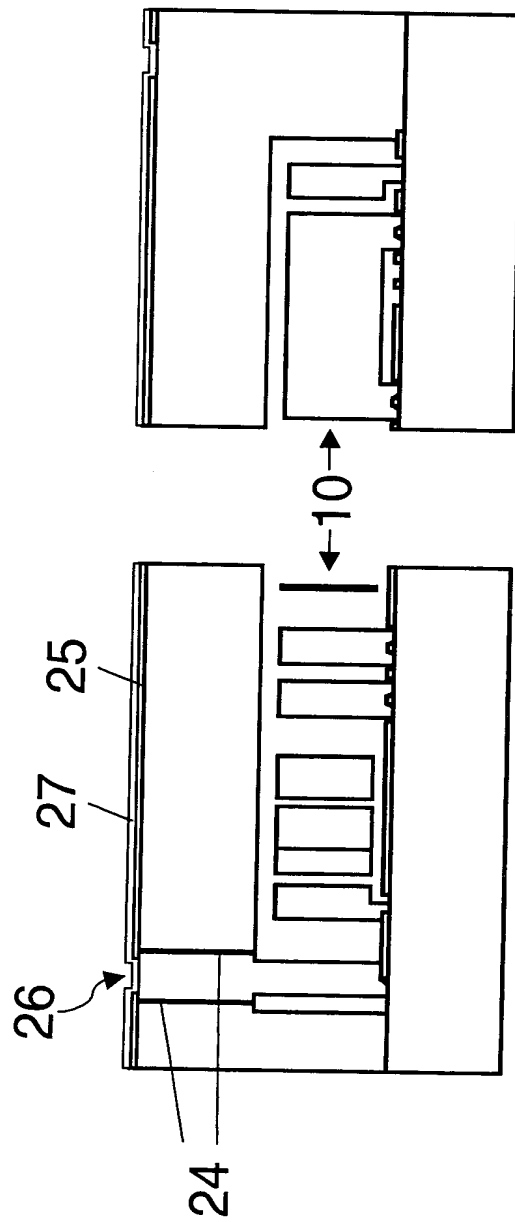


Fig. 8

